



Optimering af risteforbrænding IR-kamera **PSO 6522 - Final report**

Didriksen, Helge

Publication date:
2010

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Didriksen, H. (2010). *Optimering af risteforbrænding IR-kamera: PSO 6522 - Final report*. Technical University of Denmark, Department of Electrical Engineering.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

REPORT



Final report

PSO 6522 - Optimering af risteforbrænding IR-kamera

Prepared	Helge Didriksen (HELDI), 13 September 2010
Checked	Benny Gøbel (BENGO), 27 September 2010
Accepted	Benny Gøbel (BENGO), 27 September 2010
Approved	

Doc. no.	843024
Ver. no.	843024A
Case no.	3-00024

Indholdsfortegnelse

27. september 2010
Dok. nr. 843024
Ver. nr. 843024A

1.	Projektets formål.....	6
2.	Opnåelse af projektets formål.....	8
3.	Forøget procesforståelse.....	9
4.	Reguleringskoncept med IR-kamera.....	10
5.	Tilslagnings problemer	14
6.	IR-kameraet i Avedøreværkets halmkedel	16

Forord

Denne rapport dokumenterer arbejdet i ForskEL-projektet "6522 Optimering af risteforbrænding vha. IR-kamera".

Projektets partnere er:

DONG Energy (Tidligere Energi E2)
Risø DTU (Tidligere Risø Forskningscenter)

Nøglemedarbejdere i projektgruppen:

Jørgen Peter Jensen (oprindelig projektleder), DONG Energy
Helge Didriksen projektleder, DONG Energy
Jørgen Hansen, DONG Energy
Sønnik Clausen, DTU Risø
Henning Larsen, DTU Risø

Ansvarlig organisation

DONG Energy Power A/S
Kraftværksvej 53
7000 Fredericia
VAT number: 18936674

Kort sammenfatning og konklusion

Projektets overordnede mål har været at forbedre reguleringen og driften af ristefyrede halmkedler ved at inddrage målesignaler fra et specialudviklet IR-kamera (Infra Red) i et nyt reguleringskoncept for denne type kedel. Projektet blev gennemført ved Avedøreværkets halmkedel.

IR-kameraet tager løbende billeder af ristens overflade. Specialudviklet software transformerer billederne til temperatursignaler for predefinerede zoner på risten/kamerabilledet.

IR-kameraet kan give ny information om forholdene på risten i forhold til de allerede anvendte målinger. Projektet ønskede at anvende temperaturværdi-signaler fra IR-kameraet direkte i reguleringen af primærluftfordelingen. Signalerne fra IR-kameraet har, i det nye koncept, indgået i beregningen af primærluftfordelingen sammen med lufttrykkene under risten og eksisterende iltprocentmålinger.

Mere konkret, var formålet med det nye reguleringskoncept at opnå:

1. en mere jævn temperaturprofil på tværs af risten
2. en mere jævn iltprocentprofil på tværs af risten
3. lavere CO emission

Det er lykket at implementere det nye reguleringskoncept i Avedøreværkets halmkedels SRO-system. Det er også lykket at afprøve det implementerede koncept i kortere perioder. Ved hjælp af det nye koncept var det muligt at ændre ristens temperaturprofil og temperaturen på tværs af risten kunne jævnes ud i nogen grad.

På grund af alvorlige problemer med slaggedannelse som dækkede kameraets synsfelt, var det ikke muligt at lade konceptet køre over længere tid. Der er derfor ikke datagrundlag for at evaluere på om reguleringskonceptet faktisk giver en bedre drift af kedlen og herunder en lavere CO-emission fra kedlen, "succeskriterium 3". Det var heller ikke muligt at drage en konklusion på "succeskriterium 2", jævn iltprocent profil.

IR-kameraet har generelt givet større forståelse for hvordan halmen opfører sig på risten og hvordan dette påvirker driften af halmkedlen. Det er specielt de "levende" billeder fra IR-kameraet som har været til hjælp.

Billeder fra IR-kameraet sammenholdt med procesmålinger fra kedlen har i et konkret tilfælde været grundlag for en ændring af indstilling for kedlens luftregulering. Denne ændring af indstillingen af luftreguleringen har medført en bedre og mere stabil drift af kedlen.

Projektet har været ramt af mange praktiske problemer, større og mindre, undervejs. Projektet er derfor blevet forlænget gentagne gange.

En hovedkonklusion synes at være, at det er en meget krævende opgave at udvikle et IR-kamera, inklusive software, som skal fungere som et procesmåle-apparat til kontinuerlig on-line måling under de meget vanskelige driftsmæssige betingelser der er i én halmfyret kedel som Avedøreværkets. Det viste sig, at dette ikke var muligt indenfor rammerne af dette projekt. Det udviklede kamera har til gengæld vist sig at være meget velegnet til målekampagner hvor kameraet er "bemandet"/overvåget kontinuerligt.

Short summary and conclusion

The overall goal of this project has been to improve the control and operation of grate fired boilers with combustion of straw by utilizing measurement signals from an IR-camera (Infra Red) in a new control concept for this type of boilers. The project has been carried out at the straw fired boiler at Avedøreværket.

The IR-camera takes pictures of the grate surface continuously. Specially developed software transforms the picture into temperature signals for predefined zones at the grate/camera picture.

The IR-camera can bring new information about the conditions on the grate compared to the existing measurements. The project wished to utilize the temperature signals from the IR-camera directly in the primary air control. The signals from the IR-camera was planned to form part of the calculation of the primary air distribution together with the air pressures below the grate and the measured oxygen contents in the exhaust gas.

Technically, the purposes of the new control concept was to achieve:

1. a more even temperature profile across the grate surface
2. a more even oxygen profile across the grate surface
3. reduced CO emissions

The new control concept has been successfully implemented in the SRO-system of the straw fired boiler at Avedøreværket. Furthermore, the implemented concept has been tested during shorter periods. With the new concept, it was possible to alter the temperature profile of the grate and the temperature could be evened out to some extent.

Because of serious problems with formation of cinder which covered the field of vision of the camera, it was not possible to let the concept be operational in longer periods. This is why we do not have sufficient data to evaluate whether the new control concept actually improves the operation of the boiler including reduced CO-emission from the boiler (success criterion 3). Neither was it possible to conclude regarding success criterion 2, a more even oxygen content profile,

The use of the IR-camera has generally given us a greater understanding of how the straw behaves on the grate and how this influences the operation of the boiler. Especially the "live" pictures from the camera have been very helpful.

Pictures from the IR-camera compared with process measurements from the boiler has in a concrete case been the basis of a change in the tuning of the air control of the boiler. This change has resulted in a better and more stable operation of the boiler.

The project has been facing a lot of practical problems, smaller and larger, during the project period. The project has therefore been extended a number of times.

A main conclusion seems to be, that it is a very demanding task developing an IR-camera, software included, which purpose is to function as a process measurement for continuous on-line measuring combined with the very harsh operational conditions in a straw fired boiler like the one at Avedøreværket. It turned out that this was not possible within the frames of this project. The developed camera has, on the other hand, shown to be very useful, suitable and well-functioning at measurement campaigns where the camera is monitored continuously.

1. Projektets formål

Ristefyrede kedler til kraftvarmeproduktion er i udgangspunktet vanskelige at operere og styre. Vi har i Danmark nogle ristefyrede kedler, som er fyret med halm. Halm er, af flere årsager, et vanskeligt brændsel. Dets forbrændingstekniske egenskaber varierer meget og der er desuden specielle problemer med tilslagning af kedel ved fyring med halm.

Dette projekt har haft til hensigt at få mere viden om og løse nogle af de problemer, som knytter sig til driften af ristefyrede kedler, og specielt de halmfyrede.

Helt overordnet har projektets formål været at anvende et IR-kamera (Infra Red) som et nyt måleinstrument til at give ny information om forholdene i kedlen. Den nye information skulle både give forøget og forbedret procesforståelse og benyttes helt specifikt til at forbedre reguleringen og styringen af kedlen.

Avedøreværkets halmkedel har været case og "vært" for projektet.

Undervejs i projektet blev formålet delvis justeret – efter aftale med Energinet.dk.

1.1 Formål i det oprindelige projekt

Projektets oprindelige formål er beskrevet i detaljer i den oprindelige projektansøgning fra 2003.

Det var oprindelig meningen at projektet skulle have to "hovedspor":

1. udvikling af IR-kamera inklusive software samt permanent installation af kameraet i Avedøreværkets halmkedel.
2. Anvendelse af data fra IR-kamera til analyse, optimering og regulering for kedelen.

Spor 2 – analysesporet – bestod af flere underaktiviteter:

- Analyse af IR-kamera data og driftsdata for detektering af sammenhænge – her fokuseres specielt på sammenhænge imellem IR-kamera/driftsdata og emissioner samt sammenhænge imellem IR-kamera/driftsdata og tilslagning på hedeblade – men også generel analyse med henblik på forbedret generel procesforståelse.
- Optimering af forbrænding på rist (forbrændingsluft og risteryst) mht. reduktion af belægningsdannelse og emissionerne med IR-overvågning
- Udvikling af PEMS (Predictive Emission Monitoring System) – algoritme for NO_x, SO₂ og CO
- Udvikling af Fuzzy-regler / regelsæt der vil kunne benyttes til forbedring af reguleringen.

1.2 Nyt formål for anvendelsen af IR-kameraet

Det blev undervejs i projektet besluttet at foretage en grundlæggende ændring af spor 2 i projektet.

Ændringen gik ud på, at udelade de ovennævnte aktiviteter fra analysesporet (spor 2) i projektet. I stedet skulle der gennemføres forsøg, hvor data fra IR-kameraet blev inkluderet direkte i den automatiske primærluft-regulering for kedlen, altså en mere anvendelsesorienteret tilgangsvinkel. Der blev tilført projektet ekstra midler (fra Energi E2, senere DONG Energy) til at dække udgifter til diverse aktiviteter i denne sammenhæng.

Det nye reguleringskoncept er beskrevet nærmere i kapitel 4.

Spor 1 – udvikling af IR-kamera – forblev næsten uændret. Formålet var stadig at udvikle et IR-kamera til permanent installation i Averøreværkets halmkedel til at måle temperaturer i længere tidsintervaller. Dog stillede ændringen i spor 2 endnu større krav til IR-kameraets robusthed og pålidelighed, da kameraet nu skulle være et on-line måleinstrument og indgå direkte i kedlens primærluftregulering. En fejl eller et nedbrud i IR-kameraet ville dermed kunne få meget uheldige konsekvenser for driften af halm-kedlen.

Der blev derfor tilføjet ekstra midler til projektet for at gøre IR-kameraet mere driftssikkert og egnet til den dedikerede opgave. (fra Energi E2 – senere DONG Energy).

1.3 Begrundelse for ændring af projektformål

Der var flere årsager til ønsket om at foretage denne projektændring. Følgende begrundelse blev givet i ansøgning til Energinet.dk om projektændring:

Der er sket store ændringer med hensyn til tilslagningsproblemet ved kedelen. Da ansøgningen blev skrevet, var tilslagningsproblemet massivt. Der er senere blevet foretaget flere tiltag ved Avdeøreværket for at løse dette problem og for at få en god drift af anlægget. Der er, blandt andet, lavet ændringer i ristens udformning og i reguleringsstrategien for processen. Tiltagene er nærmere beskrevet i bilag. Tilslagningen er nu meget lavere og på et acceptabelt niveau.

Der er gjort erfaringer med analyse af måledata fra ristefyrede halmanlæg i PSO projektet FU1201 "Reducerede emissioner ved optimeret forbrænding". Analysearbejdet af denne type data med henblik på modellering og optimering/regulering, som det er lagt op til i projektansøgningen, er meget kompliceret og arbejdskrævende. Desuden viser det sig at der stilles meget store krav til dataenes informationsniveau. Driftsdata fra almindelig drift er ikke gode nok til analysearbejde af denne art.

Omfanget af analysedelen er i projektansøgningen kraftig undervurderet og vil kræve en meget større arbejdsindsats end der er lagt op til i det opstillede budget.

En af de centrale arbejdsaktiviteter i ansøgningen er analyse og detektering af sammenhænge mellem temperaturforhold på risten, målt med IR-kamera, og tilslagning på kedlens hedeblader. Det er diskuteret en del i projektet, hvordan denne aktivitet skal gennemføres i praksis. Konklusionen er blevet, at gennemførelsen af aktiviteten er håbløs. For det første, er det meget problematisk at måle tilslagningshastigheden bare nogenlunde kvantitativt. Det største problem vil dog være at sammenligne den relativt langsomme tilslagningsproces med "et hav" af støjfyldt data fra IR-kamera og øvrige driftsmålinger fra en kompliceret og ret kaotisk proces.

Der er lavet udvidelser i forbindelse med reguleringen af primærlufttilførselen til kedlen. For ca. 1 år siden blev der installeret nye luftspjæld, således at primærluften kan fordeles på en mere fleksibel måde. Dette muliggør en direkte afprøvning af IR-kamera-data i reguleringen, en mulighed som ikke var til stede da ansøgningen blev skrevet.

Det nye forslag er mere anvendelsesorienteret end det oprindelige mere akademisk prægede forslag. På basis af ændringer i projektforsætninger og nye erfaringer, vurderes muligheden for at projektet vil resultere i værdifulde erfaringer at være væsentlig større med den foreslåede ændring.

2. Opnåelse af projektets formål

Vi nåede ikke helt i mål med det redefinerede projekt. Det lykkedes ikke at afprøve IR-kameraet som et element i primærluft reguleringen i lukket sløjfe over længere tid på grund af tilslagningsproblemer (nærmere beskrevet i afsnit 5). Dermed har vi ikke datamateriale til at konkludere om reguleringskonceptet med at anvende IR-kamera til at måle ristetemperaturer som anvendes til målesignaler i en primærluftjustering, er brugbart. Dog lykkedes det – med en del besvær – at få gennemført mange af delaktiviteterne, hver især.

2.1 Succesfulde delaktiviteter

IR-kamera billedkvalitet

Billedkvaliteten fra IR-kameraet er blevet forbedret i løbet af projektet.

IR-kamera – som on-line måleinstrument

Det udviklede IR-kamera var installeret i Avedøreværkets halmkedel i lange perioder hvor det filmede forholdene på risten i kedlen med gode billeder.

Det specialudviklede software i IR-kameraet konverterede billeder fra risten til temperaturværdier for 12 prædefinerede zoner på risten.

Kameraet har i lange perioder fungeret fint, isoleret set. Slaggeproblemerne har imidlertid ”vanskeliggjort” brugen af kameraet.

Det skal her også nævnes, at det udviklede kamera har vist sig at være meget velegnet til målekampagner, hvor kameraet er ”bemandet”/overvåget kontinuerligt.

Signalføring

De beregnede temperatursignaler fra IR-kameraet blev konverteret til elektriske signaler (4-20 mA) og overført til halmkedlens SRO-system uden problemer.

Nyt koncept for primærluftregulering

Der blev udviklet og programmeret et nyt koncept til justering af primærluftfordeling til risten.

Konceptet anvendte de 12 temperaturmålinger fra IR-kameraet til at lave en omfordeling af primærluftfordelingen for at opnå en mere jævn temperaturfordeling på tværs af risten.

Det lykkedes at køre forsøg med det nye koncept i kortere perioder på Avedøreværkets halmkedel. Forsøgene viste, at det var muligt med dette koncept at påvirke ristens temperaturfordeling.

3. Forøget procesforståelse

IR-kameraet har generelt givet større forståelse for hvordan halmen opfører sig på risten og hvordan dette påvirker driften af halmkedlen. Det er specielt de "levende" billeder fra IR-kameraet som har været til hjælp.

Ændringer i luftreguleringen for kedelen.

Billeder fra IR-kameraet sammenholdt med procesmålinger fra kedlen har i et konkret tilfælde været grundlag for en ændring af indstilling for kedlens luftregulering. Denne ændring af indstillingen af luftregulerings har medført en bedre og mere stabil drift af kedlen.

Kedlen har fire iltmålinger sidst i kedlens andet træk. Disse iltmålere indgår i kedlens luftregulering. Når iltprocenten er for lav justeres luftmængden op og omvendt.

Det tilstræbes at forbrændingen på risten er så jævn som muligt, men forbrænding af halm på en rist er en kompliceret proces. Der vil for eksempel ske store og hurtige ændringer i forbrændingen på risten, når halmlaget på en eller anden måde brydes op og halm vælter og ruller ned ad risten. Dette vil typisk medføre, at mere halm pludselig eksponeres til forbrænding og forbrændingen øges hurtigt. Dette vil, alt andet lige, medføre en lavere iltprocent i røggassen.

Ved at sammenholde billeder fra IR-kameraet af bevægelser i halmlaget og målinger fra de fire iltmålere, blev det afsløret at iltmålerne i 2. træk var meget længe om at registrere ændringerne i forbrændingen, i størrelsesordenen 2 minutter. Dette gør feedback regulering på basis af disse iltmålere problematisk og det blev tydeliggjort at forstærkningen fra iltprocentmålerne var for stor. Vægtningen af de fire iltprocentmålere i luftreguleringen blev dæmpet på grundlag af de nævnte observationer, hvilket har forbedret driften af kedlen væsentligt.

4. Reguleringskoncept med IR-kamera

Biomassekedelen på Avedøreværket er en ristefyret kedel. Reguleringen af primærluftmængden op igennem risten er meget central for at opnå en hensigtsmæssig forbrænding på risten og en god drift af kedlen. Knap 40 % af den totale kontrollerede lufttilførsel tilsættes som primærluft.

I projektet er det blevet fokuseret på tilførsel af primærluft til risten. Det er i dag muligt at fordele primærluften til risten på en meget fleksibel måde og dermed tilføre primærluften der, hvor man ønsker det. Der er 12 separate luftkasser under risten og primærluften kan fordeles (se figur 1), i udgangspunktet, vilkårligt til de 12 luftkasser. Risten er, set i forhold til primærluft tilsætning, delt op i 12 zoner (vist på figur 2). Der er installeret reguleringsspjæld under hver af disse zoner for at opnå den ønskede primærluft fordeling.

I projektet er det kun fordelingen af primærluft, som er i fokus. Mængden af tilført primærluft, totalt, skal ikke ændres med det nye reguleringskoncept.

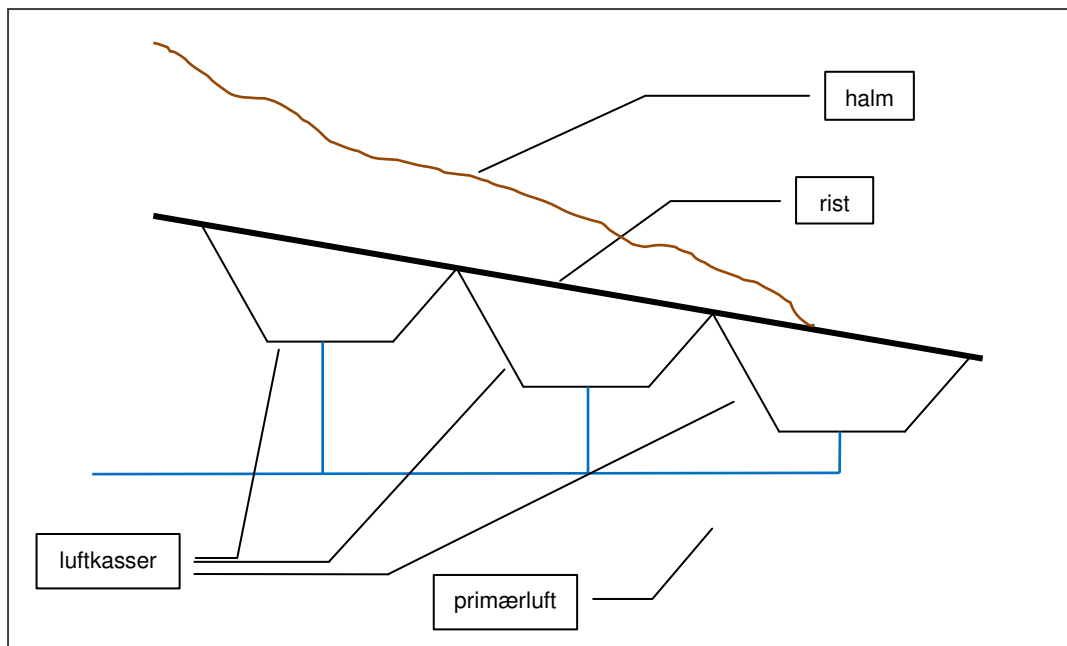
Eksisterende primærluftfordelings koncept

I reguleringen af primærluftfordelingen i det eksisterende koncept indgår som procesmålinger lufttrykmålinger i de 12 luftkasser samt fire iltmålinger sidst i kedlens 2. træk.

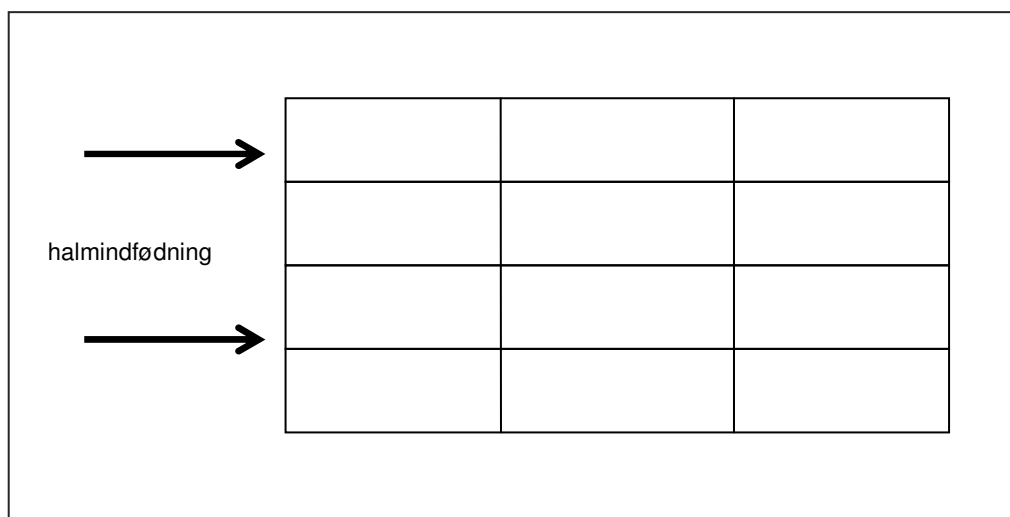
Det man ønsker at opnå med Reguleringen af primærluftfordelingen er:

1. man ønsker at oxideringen af halm til CO sker på en størst mulig risteflade således at ristens areal udnyttes bedst muligt.
2. man vil undgå for høj lufttilførsel i en bestemt zone for at undgå at CO oxiderer videre til CO₂. Dette giver for høje temperaturer lokalt på risten, hvilket blandt andet medfører for høj tilslagning af hedefladerne.

Kort fortalt, fungerer primærluftfordelingen i dag ved at man regulerer lufttilførselen således at lufttrykket i luftkasserne, og dermed trykfaldet over det overliggende halmlag, har passende værdier. Hvis for eksempel trykket i en luftkasse falder, må man forvente at det overliggende halmlag er blevet mindre, for eksempel ved forøget forbrænding. Lufttilførselen til den pågældende luftkasse justeres ned af reguleringssystemet. Dette medvirker til at reducere forbrændingen og således dannes der igen et passende halmlag i zonen og det målte lufttryk vil stige til den ønskede værdi.



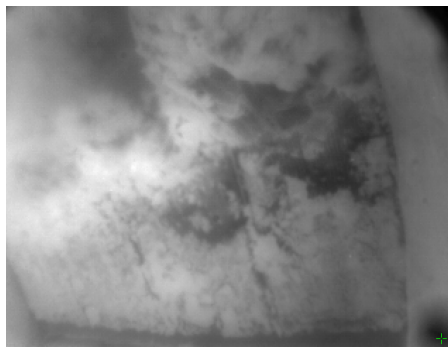
Figur 1. Primærluft tilførsel til luftkasser under risten



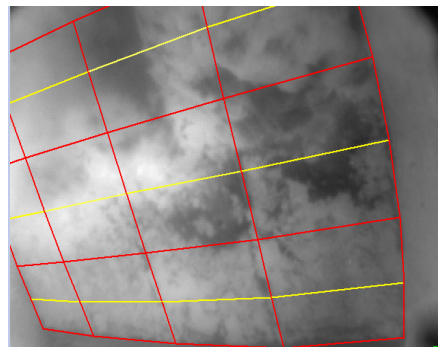
Figur 2. Der er 12 zoner i forhold til primærluftfordeling

Nyt primærluftfordelingskoncept

IR-kameraet kan give ny information om forholdene på risten i forhold til de allerede anvendte målinger. Projektet ønskede at anvende signaler fra IR-kameraet direkte i primærluftfordelingsreguleringen. Signalerne fra IR-kameraet har, i det nye koncept, indgået i beregningen af primærluftfordelingen sammen med lufttrykkene under risten og iltprocentmålingerne i 2. træk.



Figur 3. Billede af risten med IR-kamera



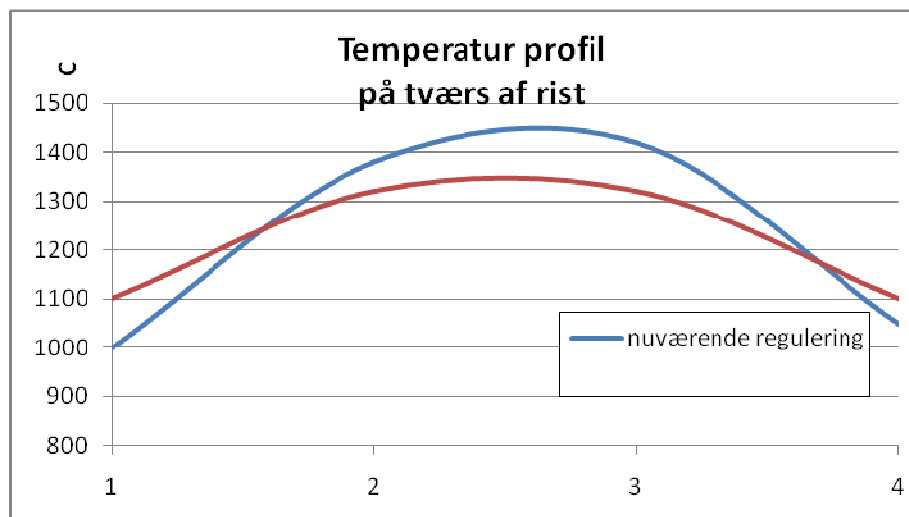
Figur 4. Kamerabilledet delt op i zoner

Succeskriterier som konceptet skulle evalueres på var:

4. målt temperaturprofil på risten – jævn temperaturprofil på tværs af risten ønskes
5. målt iltprocent på tværs af risten (målt i 2. træk) – jævn iltprocentprofil ønskes
6. CO emission – lav emission ønskes

IR-kameraet tager løbende billeder af forholdene på risten, som vist på figur 3. Billedet opdeles i prædefinerede zoner (figur 4), svarende til de 12 zoner for de 12 luftkasser. Ved hjælp af billedbehandling bliver billedet i hver zone omregnet til en gennemsnitstemperatur for hver zone.

IR-kameraets software beregner 12 temperaturer, temperaturer for ristens overflade i hver af de 12 nævnte zoner. Strategien i det nye udvidede reguleringskoncept var, at benytte de nye temperaturmålinger i kombination med de regulerbare lufttilførsler til luftkasserne således at temperaturprofilen på tværs af risten bliver "jævnet ud", som vist på figuren nedenunder.



Figur 5. Temperaturfordeling på tværs af rist – illustrativ figur

Det nye reguleringskoncept skulle således benytte de regulerbare luftspjæld til at opnå:

- ønskede værdier for tryk i luftkasser
- ønskede temperaturprofiler for risten
- ønskede værdier for iltprocent i 2. træk (iltprocent "profil")

Der er her færre styrevariable, eller frie variable, end der er reguleringsmål. Det var derfor en opgave under indtrimningen af det nye koncept at finde en vægtning af reguleringsmål – lufttryk, ristetemperaturer, iltprocenter – som fungerede fornuftigt (optimalt).

Det lykkedes, som nævnt, at anvende det nye reguleringskoncept til at "justere" temperaturprofilen på tværs af risten.

På grund af tilslagning foran kameraet, var det ikke sikkerhedsmæssigt forsvarligt at lade det nye koncept være aktivt (uden konstant overvågning) i længere perioder (op til ca. 8 timer). Dermed er der ikke datagrundlag for at vurdere om det nye koncept også gav en bedre drift af kedlen generelt – og helt specifikt:

- Mindre CO-emmissioner
- Mere jævne iltprocentmålinger i andet træk
- Bedre energiudnyttelse af brændsel

Under indtrimning af reguleringskonceptet kunne kedlen køre ganske fint – på den anden side, det kan den også med det "gamle" koncept. Det var ikke muligt under indtrimningen at drage en konklusion om at det nye koncept gav en egentlig bedre drift af kedlen.

5. Tilslagnings problemer

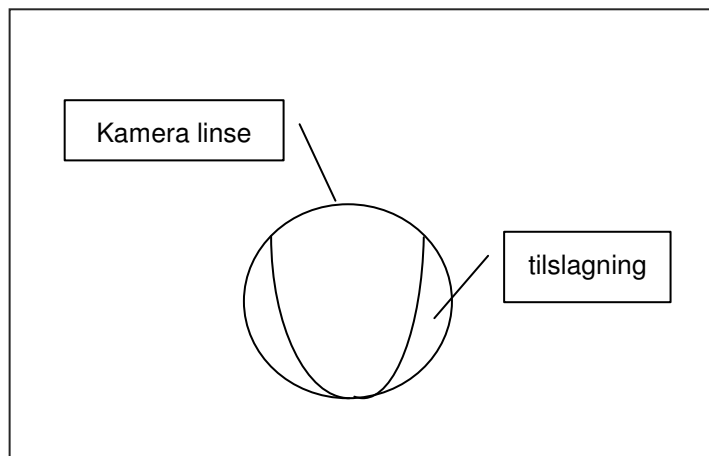
Der var en række problemer undervejs som skulle løses for at nå projektets hovedformål. Problemerne forsinkede projektet og projektet har været udsat gentagne gange. De mest vanskelige problemer var tilslagningsproblemer, dels tilslagning af selve kameralinsen, dels slaggedannelse foran kameraet (mest problematisk).

Der er, i udgangspunktet, generelt store problemer med tilslagning ved fyring af halm som brændsel. Tilslagningsproblematikken ved halmkedlen på Avedøreværket har ændret sig meget siden kedlen blev sat i drift. Da kedlen var ny, havde man store problemer med tilslagning og man var tvunget til at køre med reduceret last. Der blev gennemført flere ændringer i kedeldesign og i driften af kedlen og man fik reduceret tilslagningsproblemet væsentligt.

I starten af dette projekt var der ikke nævneværdige problemer med tilslagning af IR-kameraet og kameraet tog generelt fine billeder. Senere i projektet opstod imidlertid væsentlige problemer med tilslagning. Det var også tilslagning foran kameraet, der var årsagen til at projektet ikke blev fuldført fuldstændigt.

Tilslagning af linsen

Der var i perioder let tilslagning af selve kamera-linsen. Typisk blev der dannet slagge på siderne af linsen, som vist på figuren nedenunder



Figur 6. Tilslagning af linse - illustration

Der var også et nogle tilfælde hvor linsen blev helt dækket sort af slagge. Vi har en mistanke om at dette kan skyldes vandsodblæsning af kedelen.

For at modvirke slaggedannelse på linsen blev der foretaget ændringer i kameraets design med større luftflow på linsen for at forhindre tilslagning.

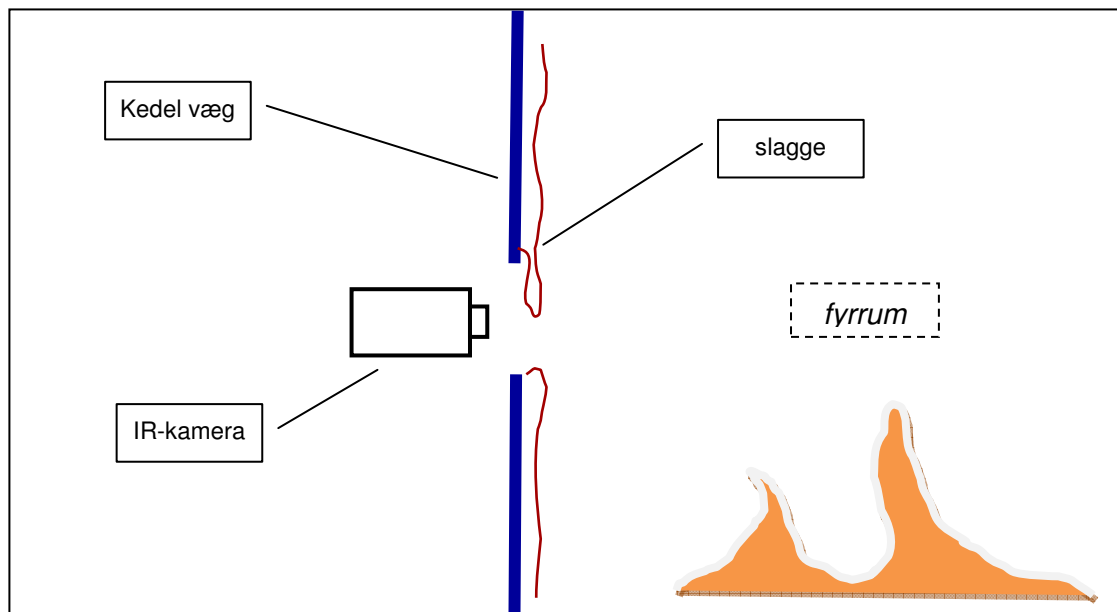
Der blev også foretaget ændringer i måden kedlen blev vandsodblæst. Der blev lavet en ændring i vandsodblæsningens program således at vandstrålen ikke ramte området tæt på IR-kameraet.

Der blev ændret på kamera installationen således at kameraet blev trukket tilbage – væk fra kedelvæggen – når der blev sodblæst.

Det var dog ikke tilslagning af kameralinsen som var det store problem ved projektets afslutning.

Slaggedannelse foran kameraet

Et problem som ikke var til stede i starten af projektet, men som senere blev et stort problem, var slagge, som løb ned af kedelvæggen og kom til at dække dele af, eller hele, kameraets synsfelt. Problemet er skitseret med figuren nedenunder.



Figur 7. Tilslagning foran kamera - illustration

Når der kommer slagge foran kameraets synsfelt, helt eller delvist, viser kamerabilledet ikke et repræsentativt billede af risten og de beregnede temperaturværdier bliver forkerte. Det giver ingen mening at regulere primærluftfordeling på basis af disse værdier. Justering af primærluft på basis af forkerte værdier kan give en meget uheldig drift af kedlen og driftsstop af kedlen vil være en meget sandsynlig konsekvens. Dette er naturligvis en helt uacceptabel risiko.

Da vi i sidste del af projektet forsøgte at afprøve reguleringskonceptet og indtrimme reguleringen, var slaggeproblemerne omfattende og der skulle fjernes slagge stort set hver dag. Reguleringen fik aldrig lov at køre i længere tid end knapt 8 timer, da det var for risikabelt at lade reguleringen køre "ubevogtet".

Der blev ikke fundet en praktisk gennemførlig løsning for at omgå dette slaggeproblem i denne allersidste fase af projektet.

6. IR-kameraet i Avedøreværkets halmkedel

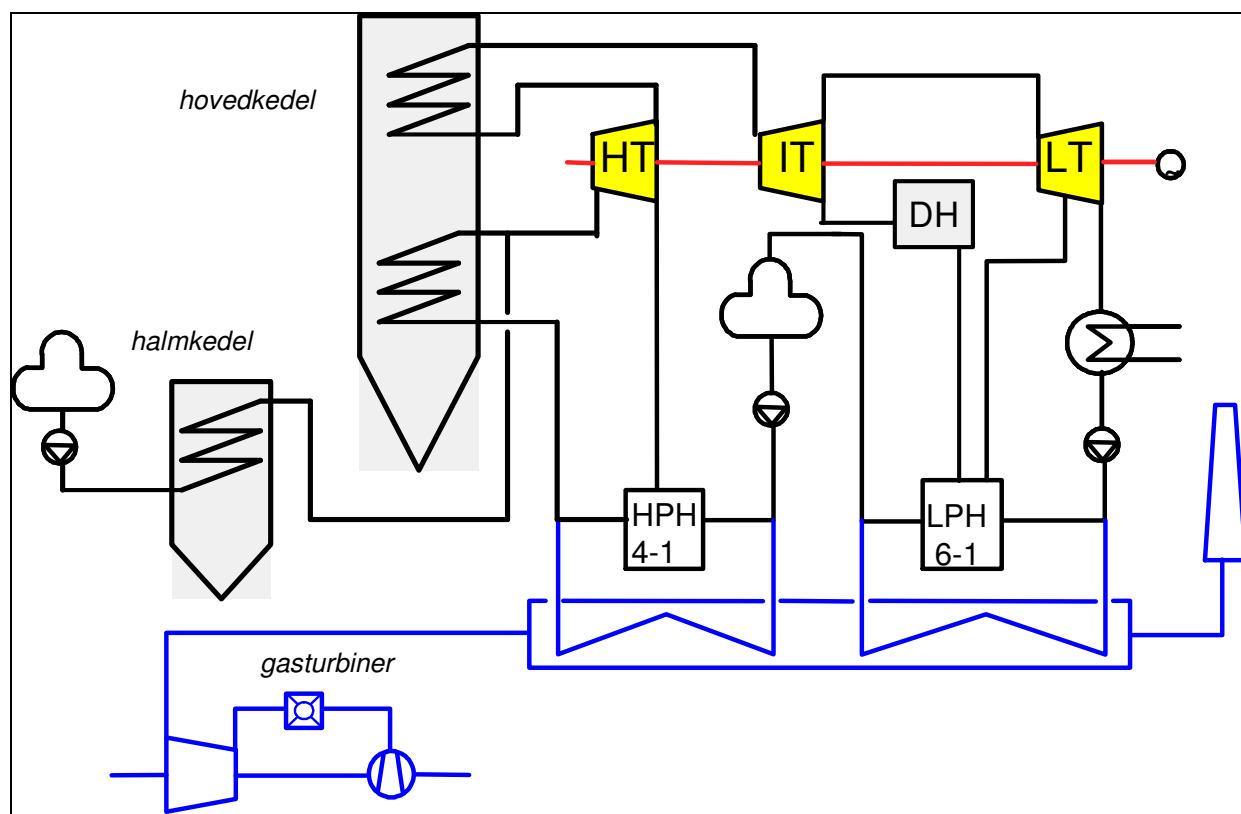
IR-kameraet blev installeret og afprøvet på Avedøreværkets halmkedel. Afsnittet beskriver kort kedlen generelt. Dernæst beskriver afsnittet installationen og placeringen af IR-kameraet i kedlen.

Afsnittet om halmkedelen på Avedøreværket er hentet (kopieret) fra et tidligere PSO-projekt ("Reducerede emissioner ved optimeret forbrænding").

Avedøreværkets halmkedel

Kedelsystemet, Avedøre blok 2

Halmkedelen på Avedøre er en integreret del af Avedøre, blok 2. Avedøre blok 2 består af en 800 MW_t tårnkedel, 105 MW_t halmkedel og to 75 MW_t gasturbiner. Tårnkedlen er hjertet i anlægget. Udstødsgassen fra de to gasturbiner benyttes til forvarmning af kondensat og fødevand benyttet i hovedkedlen. Halmkedlen benytter fødevand fra hovedkedlens fødevandstank og dampen blandes med dampen fra hovedkedlen før HT-turbinen. Nedenstående figur viser, hvorledes vand/damp systemet er koblet på Avedøre blok 2.



Figur 8. Vand/dampkredsløbets kobling mellem hovedkedlen, halmkedlen og gasturbinerne.

Halmkedlens fødevandsbeholder forsynes fra hovedkedlens fødevandsbeholder der er ca. 220 °C. Dette er ikke vist i ovenstående figur. Under opstart spædes dog med kold kondensat ca. 75 °C.

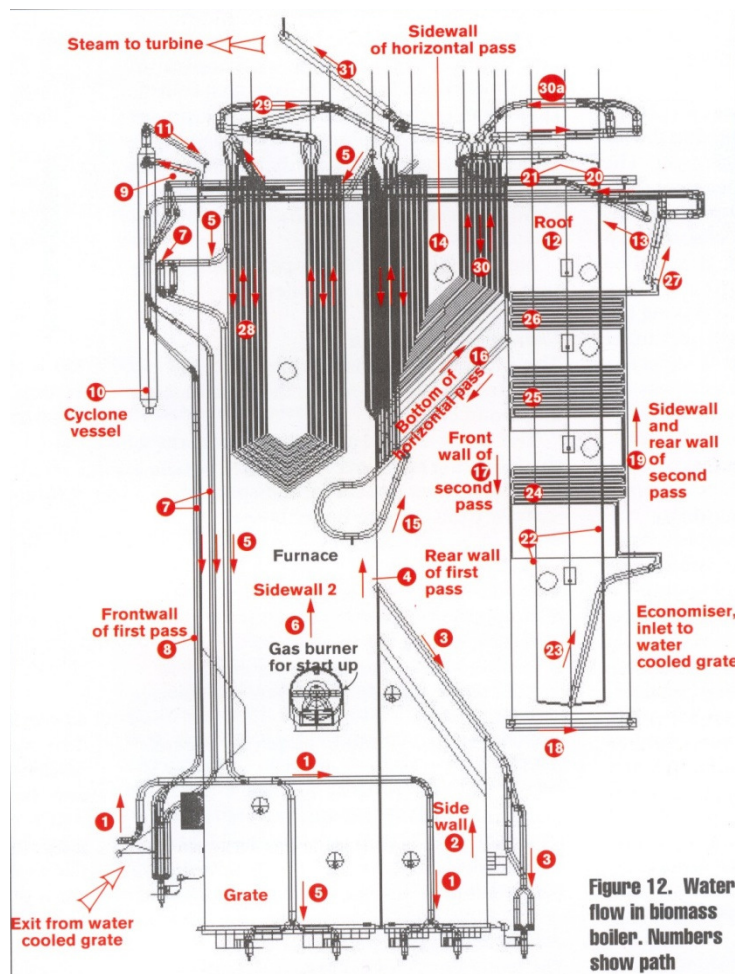
Hovedkedlen fyres med naturgas, tung olie og træpiller. Halmkedlen er en Bensonkedel (tvangsgennemløbskedel) udlagt til en kapacitet på 150.000 tons halm/år. I nedenstående tabel er angivet driftsdata for Avedøre 2.

	Hoved- kedel	Hoved- og halm- Kedel	Hoved- og halmkedel og gasturbiner
100 % kondensdrift			
MW_{el}	390	435	585
η_{el}	48	48	50
“100 %” fjernvarmeproduktion			
MW_{el}	325	365	505
η_{el}	41	41	43
Fjernvarme (MW)	425	475	560
η_{Total}	94	94	91
Teknisk minimum			
100 % kondensdrift (MW)	76	110	
”100 %” fjernvarmeproduktion (MW)	96	96	

Tabel 1. Driftsdata for Avedøre 2.

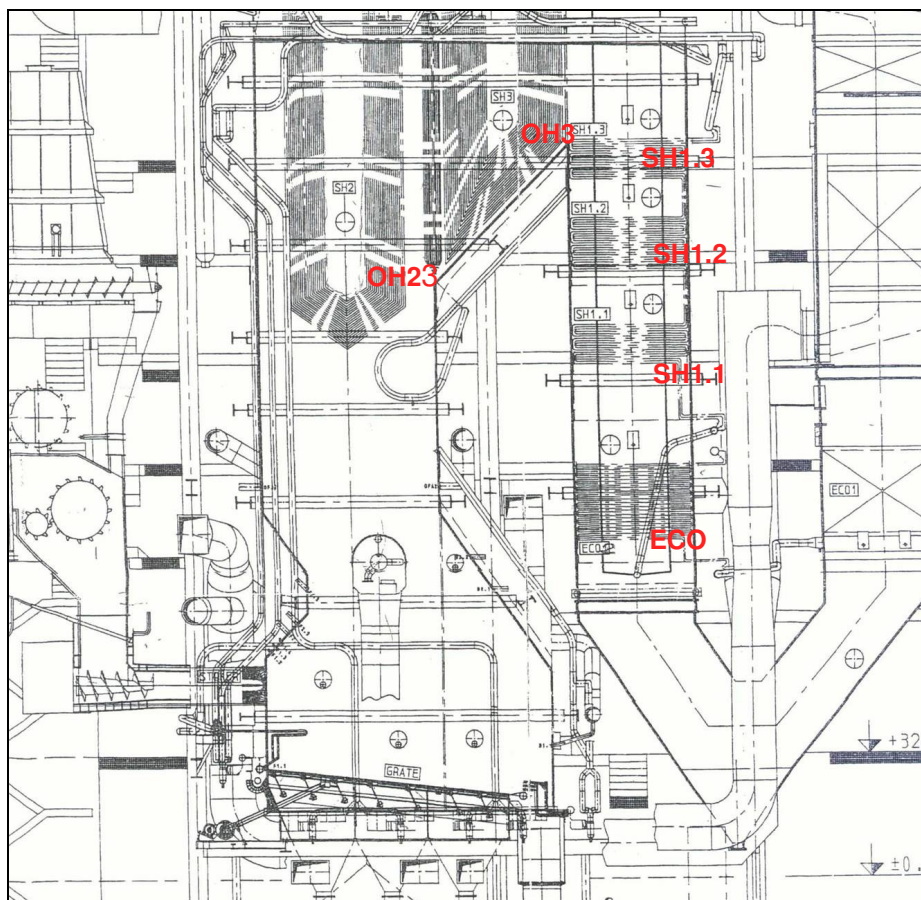
Designdata for halmkedlens dampproduktion er ved fuld last 40 kg/s ved 310 bar og 583 °C, hvor den indfyrede effekt er 25 tons halm pr. time. På grund af risiko for overheder-korrosion har dampdata indtil videre været begrænset til en damptemperatur på 540 °C. Hovedkedlen har også haft begrænset damptemperatur pga. risiko for vanadiumkorrosion pga. oliefyringen. Der sker ingen genoverhedning i halmkedlen.

I nedenstående diagram er vist vand/damp-strømmen i biomassekedlen. Det kan noteres at nr. 10 er flasken.



Figur 9. Vand/damp gennemstrømning i halmkedelen

Af ovenstående figur ses at strålingsoverhederen (OH2) og mellemtræksoverhederen (OH3) er hængende overheder. OH2 og OH3 er designet til at der ikke benyttes sodblæsere til fjernelse af slaggen. Afstanden mellem skottene er valgt større end traditionelle kedler og overhederne er arrangeret, så de er lette at reparere og udskifte. OH1 er placeret i 2. træk som vist i ovenstående tegning. Nedenstående tegning er glatrørs-economiseren vist nederst i 2 træk og nederst i 3. træk er installeret en ribberørs-economiser. Ovenover economiseren er der efterfølgende installeret en røggaskøler der indgår i en lukket hedtvandssystem, hvor en vand-LUFO afgiver varmen til forbrændingsluften, som optages i røggasvejen. Dette system erstatter en plade-LUFO, som anlægget oprindeligt var udstyret med.



Figur 10. Placering af hedeflader - kedelsnitstegning af biokedlen på AVV2.

Ved modtagelse af halm vejes hesstonballerne (12 stk. samlet) og der bestemmes fugt i 3 punkter gennem 2 baller ad gangen (mikrobølger), der benyttes til afregning til landmændene. Halmtransportsystemet til fyringsanlægget består af 4 parallelle halm linier med fødebånd fra halm-laden til opriverne. Halmfyringsanlægget er opbygget med fire identiske linier. Fuld last kan ske med tre ud af fire linier i drift.

Hesstonballerne består af en række 10-15 cm tykke presseslag, som er bundet sammen med 6 snore. De 6 snore skæres med 2 knive som bevæger sig fra siden og ind til midten af ballen. Oprivningen af de enkelte presseslag til løs halm sker ved at presseslagene skal passere to tromler med tænder, som kører i samme retning men med forskellig periferihastighed. Under opriveren falder den løsnede halm ned til fødesneglene (stokere). Stokkerne transporterer halmen ind i fyrrummet gennem en vandkølet kanal. I kanalen er der placeret et variabelt modhold, som holder igen på halmen, så der dannes en prop. Denne prop er med til at begrænse falskluftmængden til fyrrummet. Modholdets position reguleres via strømoptaget i fødesneglenes elmotorer. Halmflow på de fire linier er det samme.

Forbrændingsristen består af fire mekaniske i princippet uafhængige delriste – en for hver halm linie. Delristene bæres af bladfjedre og hælder ned mod slaggefaldet der er placeret i modsat side som halmen indfødes. Hver delrist er med stangtræk forbundet til en excentrik, som frembringer vibrationer, hvorved risten rystes og laget af koks og slagge transporteres ned mod slaggefaldet. Der rystes altid med 2 riste ad gangen og i modfase. Dette sker ca. hvert 2. min i 10 sek.

Forbrændingsluftsindtaget er placeret over kedlen og den totale mængde måles på sugesiden af friskluftblæseren. Inden vandlufoen passeres vandkøleren for fyringsanlægget kølesystem. Efter lufoen forgrenes forbrændingsluften til primær-, sekundær- og OFA-luft.

Primærluftsystemet forsyner luftkasserne under risten, samt 1. række sekundære dyser på bagvæggen. Risten er opdelt i 12 (3x4) sektioner og det er muligt, at styre luftflow i hver luftkasse. Finnerne mellem rørene i risten er forsynet med ca. 32.000 huller med en diameter på ca. 4 mm. Herved opnås at tryktabet er over risten og ikke over brændselslaget. Den samlede primærluft måles samt luftmængden for hhv. zone 1, zone 2 og zone 3 for de fire ristesektioner.

Flow af sekundærluft på forvæggen (ovenfor halmenindfødningsen) måles og består dels af 197 tændluftdysser (jets) i 3 niveauer der peger ned mod halmlaget og 27 dysser der er placeret i 3 niveauer lidt højere og der har knap så stor hastighed. Trykket i hver af de 4 luftkasser til tændluftdysserne og øvrige sekundærdysser kan styres og måles. Flow af sekundærluft på bagvæg måles og tilføres gennem 20 åbninger i 2 niveauer til fyrrummet tilsvarende de øvre dysser på forvæggen. Flow af OFA-luft måles og tilføres gennem fire åbninger i ét niveau på forvæg og fire åbninger i ét niveau på bagvæg over kværken.

Tabellen nedenunder viser en typisk fordeling af forbrændingsluften.

Primær luft	5	kg/s
Forvæg sekundærluft	7	kg/s
Bagvæg sekundær luft	3	kg/s
OFA-luft	13	kg/s
Falskluft	8	kg/s

Tabel 2. Typisk fordeling af forbrændingsluft.

Under OH2 er installeret akustisk pyrometer til bestemmelse af tværsnitstemperaturprofil. Dette skal bl.a. anvendes til optimering af forbrændingen, herunder fordeling af sekundærluft til for- og bagvæg.

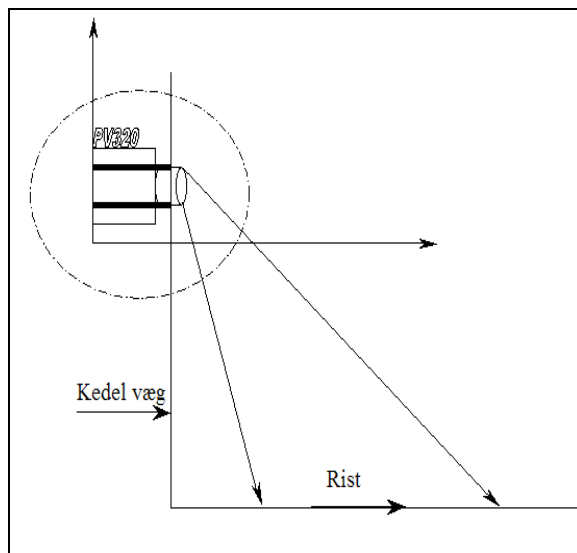
Placering af IR-kamera

Selve kameraet (uden opkobling) er vist på foto nedenunder. Kameraet er model "Electro-Physics PV320")

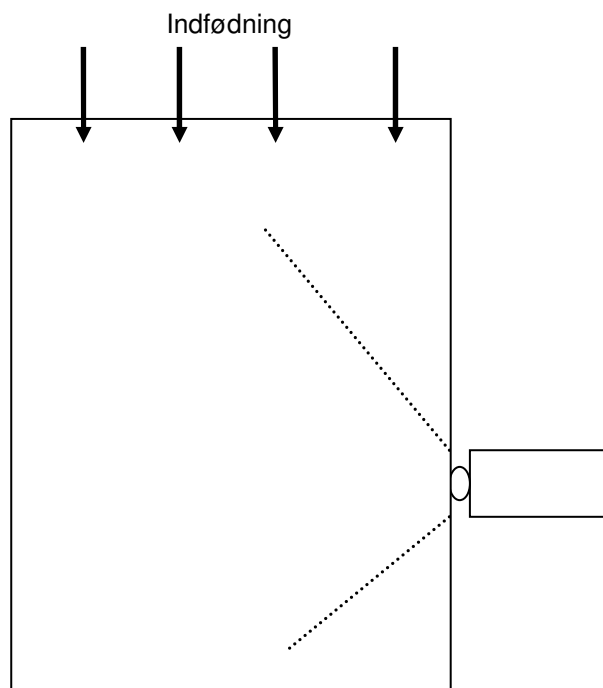


Figur 11. Kamera "Electro-Physics PV320"

IR-kameraet var placeret i en sidevæg over linje 40 i en port normalt anvendt til en gasbrænder. Placeringen af kameraet er vist på figurerne nedenunder.



Figur 12. Placering af kamera set fra kedlens endevæg.



Figur 13. Placering af kamera, set ovenfra

Placeringen var langt fra optimal. Den bedste placering ville have været centralt på bagvæggen. Dette ville imidlertid have været meget kostbart, da det ville kræve en ny udfletning i kedlen.

"Skævvridning" af temperaturmålingerne

Det blev observeret at temperaturerne på risten i siden modsat af kameraet var væsentlig højere (omkring 100 °C) end i den anden side. Det var intet, der talte for at dette var et fysisk problem. Derimod kan dette forklares som et måleteknisk problem.

Der er en del partikler i fyrrummet over riste, heriblandt glødende halmpartikler. Ideelt set, skal IR-kameraet "se" temperaturerne udelukkende på ristefladen – og "se igennem" almindelig røggas. Røggassens temperatur påvirker ikke IR-kameraets måleværdier.

Partiklerne vil dog påvirke måleværdierne. De registrerede måleværdier vil således være en kombination af risteoverflade temperaturerne og partiklernes temperaturer, hvor ristetemperaturerne normalt vil være dominerende. Dette forklarer hvorfor temperaturerne på risten i modsat side af kameraet er højere – da IR-kameraet her skal "se igennem" flere partikler.

Dette problem ville ikke have været til stede med et kamera placeret centreret i fyrrummet.